

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по науке и инновациям

НИТУ МИСИС, д.т.н., профессор

М.Р. Филонов

29 » августа 2024 г.



ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертацию Беликова Артема Артуровича на тему: «Обоснование геомеханической модели соляных пород и её параметров для прогноза напряжённо-деформированного состояния водозащитной толщи при разработке месторождения каменных солей», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.6. «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика»

1. Актуальность темы диссертации

Разработка соляных месторождений неразрывно связана с риском нарушения сплошности водозащитной толщи массива и, как следствие, прорывом вод в горные выработки. Такого рода аварии могут привести к затоплению рудника и возникновению карстовых провалов. Система трещин в водозащитной толще окружающего массива формируется в течение всего процесса оседания земной поверхности. Этот процесс может развиваться многие десятки лет и даже после полной отработки месторождения. В настоящее время широко применяемые подходы к прогнозу напряжённо-деформированного состояния водозащитной толщи (ВЗТ) окружающего массива во многом основаны на результатах геодезических наблюдений за сдвигами земной поверхности и слабо учитывают реологические свойства соляных пород. Предлагаемая в работе методика прогноза целостности водозащитной толщи окружающего массива на основе численного моделирования её напряжённо-деформированного состояния с учетом реологической модели деформирования соляных пород повышает безопасность отработки водорастворимых руд, что обуславливает актуальность исследований.

2. Научная новизна диссертации

Научная новизна полученных в диссертационной работе результатов заключается в следующем:

1. Обоснована реологическая модель деформирования массива соляных пород Верхнекамского месторождения, с применением которой разработана методика построения

ОТЗЫВ

ВХ. № 9-426 от 17.09.24
АУ УС

численной модели, обеспечивающая достоверный прогноз напряженно-деформированного состояния в окрестности одиночной горной выработки.

2. Получены зависимости продолжительности податливого и жёсткого режимов работы тросовой крепи междукамерных целиков от диаметра используемого каната.

3. Получены зависимости относительного горизонтального смещения породного контура закреплённого целика от диаметра каната податливой крепи.

4. Обоснована упруго-пластическая модель деформирования пород водозащитной толщи Верхнекамского месторождения, на основе которой получена методика оценки её целостности.

3. Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций

Сформулированные выводы и положения достаточно обоснованы, достоверность полученных результатов подтверждается сходимостью результатов численного моделирования напряжённо-деформированного состояния междукамерных целиков с натурными наблюдениями за конвергенцией породного контура очистных выработок, а также процесса деформирования и разрушения пород водозащитной толщи с результатами лабораторных испытаний.

4. Научные результаты, их ценность

Значимость полученных автором диссертации результатов для развития геомеханики не вызывают сомнений. На защиту вынесены следующие положения:

1. Прогноз НДС массива соляных пород в окрестности одиночной горной выработки следует выполнять на основе конечно-элементных моделей с использованием модели деформирования Друкера-Прагера, которые должны удовлетворять следующим требованиям: расстояние от контура выработки до границ модели должно определяться наибольшим линейным размером её поперечного сечения и превышать его не менее чем в 16 раз; наибольший размер конечного элемента должен определяться наименьшим радиусом кривизны контура выработки и составлять не более $1/6$ от него.

2. Прогноз НДС междукамерных целиков, закреплённых податливой тросовой крепью, и определение её параметров должны быть основаны на методике, учитывающей применение вязко-упруго-пластической модели деформирования соляных пород, степень нагружения целиков, величину реакции крепи в податливом режиме работы, пластическую деформацию троса в жестком режиме работы крепи и выявленную степенную зависимость относительного горизонтального смещения породного контура от диаметра тросовой крепи.

3. Методика прогноза НДС ВЗТ при разработке соляных месторождений должна основываться на использовании модели деформирования с накоплением повреждений, учитывать длительные прогнозные вертикальные смещения по её подошве и возможность возникновения гидравлической связи с грунтовыми водами посредством первичной трещины, формирование которой происходит на расстоянии, определяемом линейной зависимостью от

мощности ВЗТ, и отмеряемом от середины участка, наклон которого достигает значений $i = a \cdot m_{\text{взт}}^c$.

Данные положения расширяют известные научные знания в области геомеханики, в части прогнозирования напряженно-деформированного состояния массива соляных пород и подработанной толщи при разработке месторождений, а также оценке напряженно-деформированного состояния междукамерных целиков, закреплённых податливой тросовой крепью.

Тематика и содержание публикаций Беликова Артема Артуровича в полной мере отражают научные результаты и содержание диссертационной работы. Результаты диссертационного исследования опубликованы в 6 печатных работах, в том числе в 2 статьях – в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (далее – Перечень ВАК) в 2 статьях - в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus. Получен 1 патент. Результаты исследований неоднократно докладывались на российских и международных научных конференциях и симпозиумах. Публикации в полной мере раскрывают основное содержание диссертационной работы.

5. Теоретическая и практическая значимость результатов диссертации

1. Разработан и запатентован способ податливого крепления междукамерных целиков в соляных породах.

2. Разработана методика построения численной модели массива соляных пород с учетом реологического характера их деформирования.

3. Разработана методика оценки целостности ВЗТ, основанная на численном моделировании процесса хрупкого разрушения слагающих её пород.

4. Результаты диссертационной работы использованы в производственной деятельности ООО «СПб-Гипрошахт» для повышения качества проектирования подземных горных работ, акт внедрения от 16.10.2023.

5. Результаты диссертационной работы отражены в свидетельстве о государственной регистрации патент № 2788185 С1 «Способ податливого крепления междукамерных целиков в соляных породах» от 17.01.2023 г.

6. Рекомендации по использованию результатов работы

Разработанная автором методика построения численной модели прогноза целостности водозащитной толщи может быть использована компаниями, осуществляющими проектную деятельность в сфере добычи полезных ископаемых. Также основные результаты могут быть применены профильными научными организациями и научно-исследовательскими центрами при выполнении работ по проектированию и обоснованию параметров крепи междукамерных целиков.

7. Замечания и вопросы по работе

1. Формулировка вынесенных на защиту научных положений, на мой взгляд, нелаконична.

2. В разделе 2.3 диссертации обозначено обоснование параметров геомеханической модели с накоплением повреждений, однако в самом тексте приведены в табличном виде итоговые значения этих параметров и результаты расчетов с ними, но практически ничего не написано про методику их определения.

3. В разделе 3.5 диссертации приводится методика прогноза НДС междукамерных целиков и определения параметров их крепления податливой тросовой крепью. Известно, что продуктивные соляные пласты зачастую имеют ярко выраженную слоистую структуру с прослойками из глины с субгоризонтально направленной слоистостью. Непонятно, как в рамках предложенной методики учтен данный факт.

4. В главе 4 диссертации представлена методика и результаты численного моделирования процесса деформирования и разрушения водозащитной толщии по мере отработки продуктивного пласта. Из текста непонятно, каким образом воспроизводилось взаимодействие между геологическими слоями в пределах самой водозащитной толщии и между вмещающими породами и продуктивным пластом. При этом впоследствии в тексте анализируются расслоения по контактам.

5. В рамках выполненной работы упор сделан на ретроспективном прогнозировании уже произошедших процессов оседания водозащитной толщии при подработке и прогнозировании этих процессов на относительно небольшой временной промежуток в будущем, однако предложенный метод позволяет выполнять в том числе долгосрочные прогнозы деформирования и разрушения водозащитной толщии. Именно таких результатов в работе не приведено.

Приведенные выше замечания носят частный или рекомендательный характер и не снижают общей положительной оценки работы.

8. Заключение по диссертации

Диссертация «Обоснование геомеханической модели соляных пород и её параметров для прогноза напряжённо-деформированного состояния водозащитной толщии при разработке месторождения каменных солей», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.6. «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика» полностью отвечает требованиям раздела 2 «Положения о присуждении ученых степеней» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II», утвержденного приказом ректора Санкт-Петербургского горного университета Екатерины II от 20.05.2021 № 953 адм, а ее автор Беликов Артем Артурович заслуживает присуждения ученой степени кандидат технических наук по специальности 2.8.6. «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика».

Отзыв на диссертацию и автореферат диссертации Беликова Артема Артуровича
обсужден и утвержден на заседании кафедры «Строительства подземных сооружений и горных
предприятий» Федерального государственного автономного образовательного учреждения
высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет
«МИСИС», протокол № 1 от «29» августа 2024 года.

Председатель заседания
Заведующий кафедрой «Строительства подземных сооружений и горных предприятий»
Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего
образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»
д.т.н., профессор

Панкратенко Александр Никитович

Секретарь заседания
Ассистент, ученый секретарь кафедры «Строительства подземных сооружений и горных
предприятий» Федерального государственного автономного образовательного учреждения
высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет
«МИСИС»

Орлов Алексей Станиславович

Подпись Панкратенко А.Н. и Орлова А.С. заверяю.
М.П.

Сведения о ведущей организации:

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»

Почтовый адрес: 119049, Москва, Ленинский пр-кт, д. 4, стр. 1

Официальный сайт в сети Интернет: <https://misis.ru/>

эл. почта: kancela@misis.ru телефон: +7 495 955-00-32

Подпись Панкратенко А.Н.; Орлова А.С.

заверяю
Зам. начальника
отдела кадров Щегова А.Е.

